

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Svařitelnost ocelí používaných pro výrobu betonářských
výztuží

Weldability of Steels Using for Concrete Armatures

Student: Jan Kaděra

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.

Ostrava 2009

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Kaděra**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: **Svařitelnost ocelí používaných pro betonářské výztuže**
Weldability of Steels Using for Concrete Armatures

Zásady pro vypracování:

1. Provést posouzení svařitelnosti termomechanicky zpracovaných ocelí používaných pro výrobu betonářské výztuže.
2. Navrhněte typy spojů pro posouzení svařitelnosti betonářské výztuže a vhodné přídavné materiály.
3. Provést zkušební svary dle programu a jejich metalografické zkoušky.
4. Provést studium tvrdostí svarových spojů.
5. Zhodnocení dosažených výsledků vlastností svarových spojů.

Seznam doporučené odborné literatury:

KUČERA, J. *Teorie svařování*. Ostrava: VŠB Ostrava, 1991.
KUNCIPÁL, J. A KOL. *Teorie svařování*. Praha: SNTL Praha, 1986
KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*. (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). Ostrava: ZEROSS, 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu I.*. Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001, 505 s. ISBN 80-7204-193-2.
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu II.*. Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 350 s. ISBN 80-7204-130-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

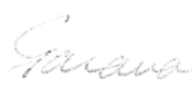
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Lucie Krejčí

Datum zadání: 29.09.2008
Datum odevzdání: 22.05.2009




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22.5.2009

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 22. 5. 2009

.....
Jan Kaděra
Hlavní 97
747 06 Opava

Anotace bakalářské práce

KADĚRA, J. *Svařitelnost ocelí používaných pro betonářské výztuže*. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 44 s. Bakalářská práce, vedoucí Hlavatý, I.

Předkládaná práce se zabývá problematikou svařitelnosti ocelí používaných pro betonářské výztuže. V úvodní kapitole je obecné posouzení svařitelnosti těchto ocelí a činitelů ovlivňující jejich svařitelnost.

Cílem práce je návrh svarových spojů pro posouzení svařitelnosti těchto ocelí a volba vhodných přídavných materiálů. Na základě návrhu svarových spojů jsou provedeny zkušební svary. Tyto svary jsou zkoušeny. Na těchto svarových spojkách je provedeno studium tvrdostí a zhodnocení dosažených výsledků. Na základě těchto výsledků je vypracován návrh technologického postupu.

Annotation of Thesis

KADĚRA, J. *Weldability of Steels Using for Concrete armatures*. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 44 p. Thesis, head Hlavatý, I.

This thesis deals with problems of weldability of steels using for concrete armatures. In the introductory chapter there is general examination of weldability of these steels and of factors which affect their weldability.

The aim of this thesis is to project weld connections with a view to examination of weldability of these steels and to choice suitable filler materials. On the basis of project of weld connections examinable weld connections are made. These connections are tested and then research of solidity of weld connections and evaluation of records is carried out. On the basis of these results technological method is elaborated.

Obsah:

OBSAH.....	6
SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ:.....	7
1. ÚVOD	8
2. OCELI POUŽÍVANÉ PRO BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE	9
2.1 TERMOMECHANICKÉ ZPRACOVÁNÍ (TMZ)	9
2.2 ZNAČENÍ BETONÁŘSKÝCH VÝZTUŽÍ.....	10
3. POSOUZENÍ SVAŘITELNOSTI OCELÍ POUŽÍVANÝCH PRO BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE.....	11
3.1 SVAŘITELNOST	11
3.2 VLIV CHEMICKÉHO SLOŽENÍ NA SVAŘITELNOST.....	12
4. PROCESY PŘI SVAŘOVÁNÍ.....	15
4.1 TEPELNĚ OVLIVNĚNÁ OBLAST	15
4.2 TRANSFORMAČNÍ DIAGRAMY.....	17
5. NÁVRH SVAROVÝCH SPOJŮ, PRO POSOUZENÍ SVAŘITELNOSTI.....	19
5.1 TYPY SVAROVÝCH SPOJŮ	19
5.1.1 NOSNÉ SVAROVÉ SPOJE:	19
5.1.2 NENOSNÉ SVAROVÉ SPOJE	22
5.2 NÁVRH PŘÍDAVNÝCH MATERIÁLŮ.....	24
6. SVAŘOVÁNÍ BETONÁŘSKÝCH VÝZTUŽÍ	26
6.1 POUŽITÝ MATERIÁL	26
6.2 POSTUP SVAŘOVÁNÍ	29
6.3 HODNOCENÍ VZORKŮ.....	29
6.4 MĚŘENÍ TVRDOSTI	37
6.5 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	39
7. ZÁVĚR.....	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:.....	41
PŘÍLOHY	42

Seznam použitého značení:

A_{c1}	dolní kritická teplota překrystalizace $\alpha + Fe_3C \rightarrow \gamma$	[°C]
A_{c3}	horní kritická teplota překrystalizace $\alpha \rightarrow \gamma$	[°C]
A_{gt}	celkové prodloužení při největším zatížení	[%]
ARA	anizotermický rozpad austenitu	
α	tuhý roztok uhlíku v železe alfa – ferit	
B_s	začátek bainitické přeměny	[°C]
B_f	konec bainitické přeměny	[°C]
C	uhlík	
Ce	uhlíkový ekvivalent	[%]
γ	tuhý roztok uhlíku v železe gama – austenit	
HV10	tvrdost podle Vickerse, zatížení 10 N	
HZ	hranice ztavení	
IIW	Mezinárodní svářečský institut (International Institute of Welding)	
IRA	Izotermický rozpad austenitu	
111	ruční obloukové svařování	
PA	poloha svařování vodorovná shora	
PB	poloha svařování vodorovná šikmo shora	
PC	poloha svařování vodorovná	
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	
SK	svarový kov	
WPQR	kvalifikace postupu svařování (Welding Procedure Qualification record)	
WPS	specifikace postupu svařování (Welding Procedure Specification)	
ZM	základní materiál	

1. Úvod

V dnešní době dochází k velkému rozvoji silničních a dálničních sítí s mostními konstrukcemi. Při výrobě těchto konstrukcí, zejména mostních pilířů se využívá betonářské výztuže, jako vyztužovacího prvku do betonu.

V posledních letech se zvyšují nároky na tyto konstrukce, zejména na životnost železobetonových konstrukcí. Proto při výrobě těchto konstrukcí je nutné dbát na kvalitu výroby, zejména svarových spojů.

Kvalitu svarových spojů ovlivňuje celá řada aspektů. Na výsledný svarový spoj má velký vliv vhodně zvolená technologie svařování, chemické složení, a zejména způsob výroby těchto ocelí.

V úvodní teoretické části je posouzení svažitelnosti těchto ocelí, vliv chemického složení na jejich svažitelnost. V další kapitole je návrh zkušebních svarů pro posouzení svažitelnosti. Jsou zde uvedeny příklady vhodných přídavných materiálů pro svařování těchto ocelí.

Cílem práce je posoudit zkušební svarové spoje z hlediska mechanických vlastností a vad.

Výsledkem této práce je stanovení technologického postupu svařování, dle norem ČSN EN 17660 část 1 nosné svarové spoje a část 2 nenosné svarové spoje. Provést studium tvrdostí svarových spojů a zhodnocení výsledků.

2. Oceli používané pro betonářské výztuže

Beton řadíme ke konstrukčním materiálům, které vykazují nízký poměr pevnosti v tahu k pevnosti v tlaku. Pro výztuže do betonu se používají ocelové tyče, nebo sítě [1].

Oceli používané pro vyztužování betonu jsou termomechanicky zpracované. Tímto zpracováním dochází ke zlepšení mechanických a plastických vlastností [1].

2.1 Termomechanické zpracování (TMZ)

Termomechanické zpracování je způsob výroby, který se začal používat až na základě hlubších teoretických poznatků z teorie dislokací. Materiál je zpevňován nejen mechanismem substitučním, intersticiálním a precipitačním, ale hlavně příspěvkem dislokačního zpevnění [1].

Termomechanické zpracování lze označit jako řízenou kombinaci tváření s fázovými a strukturními přeměnami. TMZ lze využít u všech typů ocelí. Hlavní význam má však u nízkolegovaných až středně legovaných ocelí [1].

Způsoby termomechanického zpracování:

1. TMZ niobem nebo vanadem legovaných, mikrolegovaných jemnozrnných ocelí metodou řízeného válcování. Kontrolou teploty, času a úběru při válcování, získává austenit velmi jemné zrna. Při rychlém ochlazení se austenitické zrna transformuje na jemnozrnný ferit s vysokými hodnotami meze kluzu [1].
2. TMZ deformací před transformací. Je to nejvíce používaný způsob výroby. Tento způsob rozdělujeme podle teploty tváření na [2]:
 - a. Vysokoteplotní TMZ – principem je tváření v oblasti stabilního austenitu a zakalením v čase kratším než je potřebný pro jeho rekrytalizaci. Tímto způsobem se zvýší pevnost a lomová houževnatost [1], [2].
 - b. Nízkoteplotní TMZ – je založeno na deformaci (asi 50%) nestabilního austenitu během inkubační periody a zakalením na martenzit. Následné popouštění se provádí při teplotách nižších než 200°C [1], [2].

3. Deformace během transformace.

Tvářením (nad 60%) v průběhu perlitické transformace, v rozmezí teplot 600°C až 700°C, po rychlém ochlazení z austenitické teploty a ochlazení na vzduchu, lze dosáhnout malého zvýšení pevnosti, ale podstatného zvýšení houževnatosti [1]. Deformace v průběhu bainitické transformace s následným zakalením dává výslednou strukturu směsi martenzitu a dolního bainitu [1].

Výrazněji se zvyšuje pevnost než při nízkoteplotním termomechanickém zpracování, ale houževnatost klesá [1].

4. Deformace po transformaci

Deformace po transformaci se vyznačuje malou deformací martenzitu (1% - 5%) za studena. Mezi prvním a druhým popouštěním, nebo přímo při teplotě popouštění (150°C -200°C) [2]. Tímto způsobem zpracování dochází k zvýšením meze kluzu, ale k poklesu hodnot tažnosti a lomové houževnatosti [1], [2].

2.2 Značení betonářských výztuží

Betonářské oceli se značí písmenem B, číselnou hodnotou, která udává mez kluzu a písmenem, které udává poměr meze pevnosti (R_m) k mezi kluzu (R_e).

Příklad označení:

B 500 C

Označení za číslem 500 znamená:

A – minimální hodnoty $R_m/R_e=1,05$; $A_{gt}=2,5$ %

B – minimální hodnoty $R_m/R_e=1,08$; $A_{gt}=5,0$ %

C – minimální hodnoty $R_m/R_e=1,15$; $A_{gt}=7,5$ % a vyšší

Označení těmito písmeny značí i způsob výroby. Oceli označené písmenem A jsou oceli vyráběné tvářením za studena, oceli s označením B jsou vyráběny válcováním za tepla, řízeně ochlazované z doválcovací teploty. Oceli značené písmenem C jsou oceli mikrolegované vyráběné válcováním za tepla [3].

3. Posouzení svařitelnosti ocelí používaných pro betonářské výztuže

3.1 Svařitelnost

Svařitelnost lze charakterizovat jako vlastnost materiálu vytvořit kvalitní svarový spoj pomocí vhodně zvoleného postupu svařování. Kvalitním svarovým spojem se rozumí spoj, který splňuje požadované vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti řadíme mechanické vlastnosti, jakost spoje, nepřítomnost vnitřních vad (vměstky, póry, trhliny), dále chemické složení, mikrostrukturu [4].

Svařitelnost materiálů rozlišujeme na [4]:

- a) svařitelnost metalurgická
- b) svařitelnost technologická
- c) svařitelnost konstrukční

Svařitelnost metalurgická

Důležitým hlediskem, které ovlivňuje svařitelnost a vlastnosti výsledného svarového spoje je chemické složení základního a přídavného materiálu. Z hlediska svařitelnosti jsou neméně důležité mechanické a fyzikální vlastnosti [4] .

Dále je vhodné zajímat se o:

- mikrostrukturu
- absorpci plynů
- chování při rychlém ohřevu
- náchylnost na vznik trhlín
- struktura svarového kovu po svaření

Svařitelnost technologická

Technologie svařování je jedním z hledisek, které zásadním způsobem ovlivňuje svařitelnost materiálů. Při svařování je důležitá volba svařovacích parametrů, které úzce souvisí s množstvím tepla vneseného do svarového spoje.

Dále svařitelnost technologickou ovlivňují [2]:

- čistota svarových ploch
- přehřev
- dohřev
- rychlost ohřevu
- mezihousenková teplota (Interpass)
- tepelné zpracování

Svařitelnost konstrukční

Je ovlivněna různými faktory, které souvisí s konstrukčním řešením svařované konstrukce.

Další vlivy, které ovlivňují celkovou svařitelnost konstrukce [2]:

- počet svarů
- typy svarů
- umístění svarů
- zbytková napětí
- deformace během a po svařování

3.2 Vliv chemického složení na svařitelnost

Na svařitelnost všech typů ocelí má velký vliv její chemické složení. U ocelí je chemické složení definováno v materiálových listech se zaručeným obsahem jednotlivých prvků v hm. %.

Uhlík

Uhlík (C) je přítomen ve všech ocelích a ovlivňuje velkou měrou jejich svařitelnost. S rostoucím obsahem uhlíku rostou mechanické vlastnosti jako mez kluzu, mez pevnosti, ale snižují se plastické vlastnosti.

Uhlík má také vliv na vznik tvrdé, ale křehké struktury. S rostoucím obsahem uhlíku roste i tvrdost martenzitu. Je to způsobeno rychlým ochlazením ze svařovací teploty. Proto se snažíme aby tato doba byla delší, aby nedošlo ke vzniku martenzitu a bainitu [4].

Uhlíkový ekvivalent

Uhlíkový ekvivalent (C_e) vyjadřuje vliv chemického složení na zakalení ocelí po svařování. Zahrnuje jednotlivé příspěvky chemických prvků, v hm.%.

Mezinárodní svářečský institut (IIW) vytvořil návrh vzorce, který platí pro oceli s obsahem $C < 0.25$ hm% [2].

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [\%] \quad (1.1)$$

Fosfor

Zvyšuje mez kluzu i mez pevnosti, ale snižuje plastické vlastnosti ocelí. Ve spojení s mědí zvyšuje odolnost proti atmosférické korozi. Způsobuje sklon ocelí ke křehkému lomu, proto se jeho obsah redukuje na max. 0,05% [4].

Jeho škodlivé působení lze shrnout [4]:

1. Zvyšuje sklon k segregaci tím, že prodlužuje dvoufázovou oblast v rozmezí teplot $1534^{\circ}C - 1050^{\circ}C$.
2. Malá difúzní rychlost v α (ferit) a γ (austenit) tuhém roztoku nedovoluje vyrovnání koncentrace fosforu.
3. Způsobuje zkřehnutí α tuhého roztoku.

Fosfor snižuje mez únavy a zvyšuje riziko ve spojení se sírou ke vzniku krystalizačních trhlin [4].

Síra

Někdy se přidává úmyslně do nelegovaných ocelí za účelem zlepšení obrobitelnosti. Rozpustnost síry při 1365°C je 0,05%. Železo a sulfid železnatý tvoří nízkotavitelné eutektikum, které se vlivem oxidu železnatého (FeO) posouvá k nižším teplotám.

Kritická je oblast tuhnutí od bodu tavení železa (1534°C) až k bodu tavení $\text{Fe} - \text{FeS}$ eutektika při 988°C [4]. V rozsahu těchto teplot je γ (austenit) tuhý roztok v rovnováze s tekutou fází. Proto při svařování dochází k natavení eutektika na hranicích zrn, tím dojde k porušení materiálu v důsledku vzniku krystalizačních trhlin [4].

Při velkém obsahu síry je materiál náchylný na vznik teplých trhlin. Při velkém obsahu síry se dolegovává mangan, protože mangan má větší afinitu k síře, než železo. Bod tavení sulfidu manganatého (MnS) je při 1610°C . To znamená, že při tuhnutí oceli jsou již sulfidy manganu v pevném stavu a působí jako krystalizační zárodky, jsou mimo hranice zrn [4].

Dusík

Dusík se do svarových spojů dostává z atmosféry. V železe a slitinách je vždy určité množství dusíku. Obsah dusíku závisí na technologii výroby. Maximální rozpustnost dusíku v roztaveném železe není velká, při 1600°C je 0,04 až 0,05 hm.%. S klesající teplotou se dusík vylučuje jako stabilní nitrid Fe_4N nebo při teplotách nad 200°C jako Fe_{18}N_2 [1].

Vylučování nitridů má velký vliv na vlastnosti ocelí, zvyšují mez kluzu, pevnosti a tvrdost, ale snižují plastické vlastnosti (tažnost, vrubová houževnatost). Vylučování nitridů způsobuje stárnutí při normálních teplotách. Velmi nebezpečné je vylučování nitridů v TOO, které může vést při nízkých teplotách k porušení svařené konstrukce.

Nežádoucí účinky dusíku a jeho nitridů lze odstranit přidáním prvků (Al , Ti , Zr), které mají větší afinitu k dusíku než má železo a tvoří stabilní nitridy [4].

Vodík

Vodík je v ocelích nežádoucí příměs. S rostoucí teplotou roste rozpustnost vodíku v železe. Při tuhnutí difunduje do dutin, mezer, kde se mění na molekulu vodíku H_2 .

Vyloučený vodík způsobuje velké vnitřní pnutí, které může vést až k porušení materiálu [4]. Vysoký obsah vodíku způsobuje vznik trhlin, pórů, tzv. rybích ok. Zdrojem vodíku ve svarovém kovu jsou nedostatečně vysušené obaly elektrod, znečištěný povrch svařované součásti (mastnoty, zbytky rzi, zbytky barev apod.).

Oceli používané jako výztuže do betonu řadíme mezi nelegované jakostní oceli dle ČSN EN 10020. Při svařování je důležitá volba přídavného materiálu a volba svařovacích parametrů, které ovlivňují výsledné vlastnosti spoje. Je to úzce spjato s množstvím vneseného tepla do svarového spoje. Oceli používané jako výztuže do betonu jsou termomechanicky zpracované to znamená, že mají tvrdý povrch, ale houževnaté jádro. Při velkém tepelném příkonu se tento povrch popustí. Tím se změní mechanické vlastnosti [2], [4].

4. Procesy při svařování

V průběhu svařování dochází ve svařovaném materiálu ke strukturním změnám, vlivem jeho ohřevu a následným ochlazováním. Při svařování můžeme pozorovat několik jevů: tavení přídavného a základního materiálu, tepelné ovlivnění svařovaného materiálu, vznik svarové lázně, tuhnutí svarového kovu a následné ochlazování v celém průřezu svaru [4].

Většina metod svařování je založena na místním působení tepla v místě svaru. Doprovodným znakem svařování je deformační cyklus, který vzniká v důsledku tepelné roztažnosti kovů, v důsledku působení tepla v určitém časovém úseku [4].

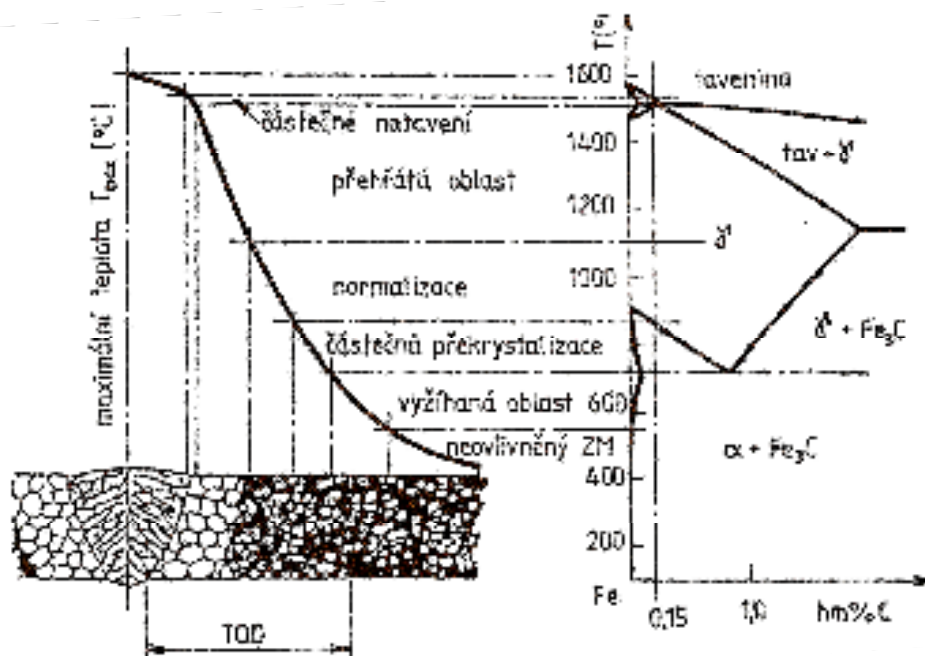
4.1 Tepelně ovlivněná oblast

Tepelně ovlivněnou oblastí (TOO) nazýváme oblast svarového spoje, ve které dojde ke změně mikrostruktury vlivem tepelného působení zdroje od svařování. U ocelí dochází v TOO k výrazným změnám mikrostruktury, které mají vliv na výsledné vlastnosti svarového spoje [2], [5].

Při svařování nelegovaných ocelí s polymorfní přeměnou $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$, můžeme TOO rozdělit na charakteristická pásma (obr. 1) [2], [4]:

1. **Oblast částečného natavení** – jedná se o oblast, která odděluje svarový kov a TOO. U ocelí se tato oblast redukuje na linii ztavení.
2. **oblast přehřátí** – oblast s teplotami nad A_{c3} . U nelegovaných ocelí je tato teplota v rozmezí 1050°C . Oblast přehřátí se vyznačuje zhrublým zrnem. V této oblasti může vysoce přehřátý kov absorbovat plyny (dusík, vodík). Tato absorpce může vést po ochlazení k vzniku trhlin.
3. **oblast vyhřátá nad teplotu A_{c3} (pásmo normalizace)** – je charakteristické úplnou transformací $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$.
4. **Pásmo částečné překrystalizace** – v rozmezí teplot $A_{c3} - A_{c1}$. Pásmo s neúplnou polymorfní přeměnou
5. **oblast pod teplotou A_{c1}** - zde probíhají změny v rámci tuhého roztoku α Fe.

Betonářské výztuže jsou termomechanicky zpracované oceli, povrchová vrstva se při svařování vlivem tepla vyžihá, tím dojde k poklesu mechanických vlastností. Nepříznivý vliv se snažíme redukovat, vhodnou volbou přídatného materiálu.



Obr. 1 Tepelně ovlivněná oblast [2]

4.2 Transformační diagramy

Transformační diagramy znázorňují průběh přeměny přechlazeného austenitu. Udávají vliv teploty a času na průběh přeměny. Platí pro oceli určitého chemického složení a pro určité podmínky austenitizace. V transformačních diagramech jsou obsaženy údaje o začátku a konci vylučování proeutektoidních fází [6].

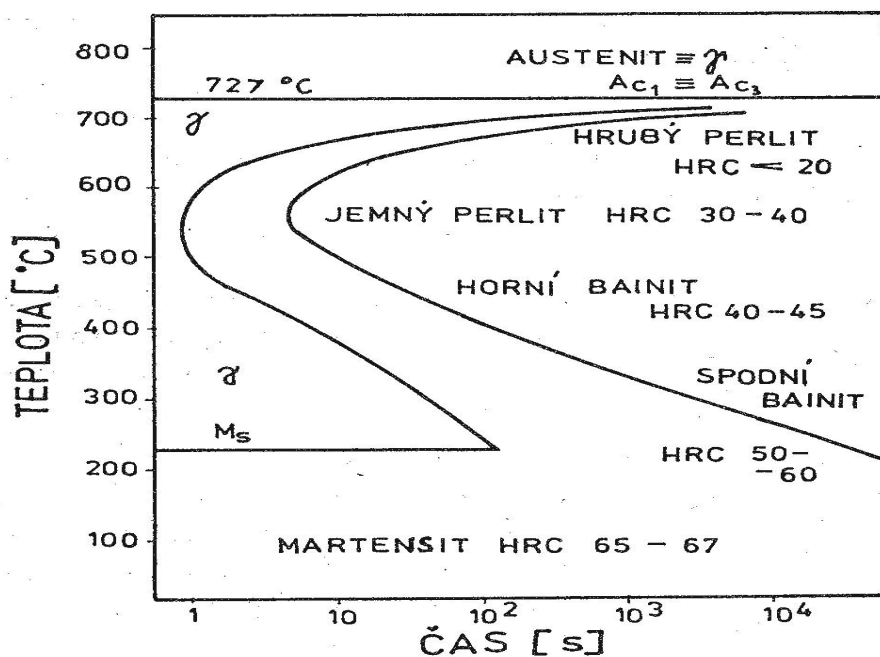
Diagram Izotermického rozpadu austenitu (IRA)

Izotermický rozpad austenitu je proces, při kterém dochází k rozpadu austenitu při konstantní teplotě, která je nižší než A_{c1} [6].

Podle teploty rozpadu rozeznáváme tři základní typy přeměn austenitu [7]:

- perlitická přeměna – probíhá při nejvyšších teplotách (A_{c1} - 500°C).
- bainitická přeměna – probíhá v rozmezí teplot 500°C - 250°C
- martenzitická přeměna – probíhá pod teplotami 250°C .

Diagram IRA pro podeutektoidní ocel je uveden na obr. 2.

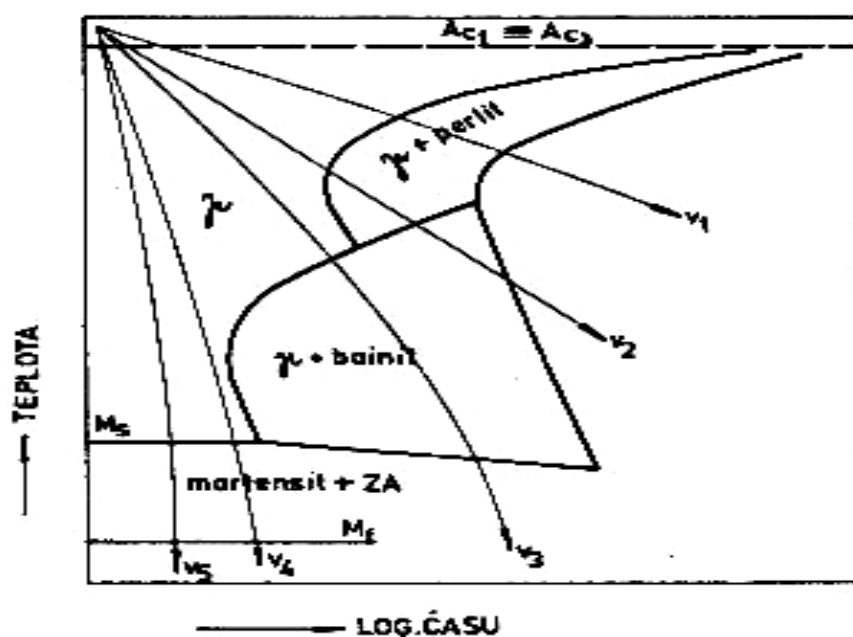


Obr. 2 Diagram IRA eutektoidní uhlíkové oceli [6]

Diagram Anizotermického rozpadu austenitu

Diagram anizotermického rozpadu austenitu znázorňuje strukturní změny při různých rychlostech ochlazování austenitu. Při ochlazování uhlíkových ocelí při určité rychlosti ochlazování vzniká perlit křivka V1. Perlit lze označit jako vyhovující strukturu v oblasti svaru [5]. Při vyšších rychlostech ochlazování austenitu neproběhne úplná perlitická přeměna. Austenit se transformuje na bainit, martenzit a zbytkový austenit křivka V2. Po rychlosti ochlazování V3 vznikne bainit, martenzit a zbytkový austenit, po V4 a V5 vznikne martenzit a zbytkový austenit [6].

Diagram ARA eutektoidní uhlíkové oceli je uveden na obr. 3.



Obr. 3 diagram ARA eutektoidní uhlíkové oceli [6]

5. Návrh svarových spojů pro posouzení svažitelnosti

Svažitelnost se posuzuje před začátkem výroby železobetonových konstrukcí. Před začátkem výrobního procesu se provádí zkušební svary za použití stejných základních a přídavných materiálů jako při výrobě. Následně se svažené vzorky podrobí zkoušení v akreditované laboratoři. Těmito zkouškami zjišťujeme mechanické vlastnosti výsledného svarového spoje.

5.1 Typy svarových spojů betonářských výztuží ocelí

Svarové spoje betonářských výztuží ocelí lze rozdělit do dvou skupin podle přenosu zatížení na:

- nosné
- nenosné

Nosné svarové spoje jsou určeny k přenosu zatížení spojené s provozem konstrukce, nebo při manipulaci. Přenášejí zatížení mezi tyčemi z betonářských výztuží, nebo mezi jinými materiály [8].

Nenosné svarové nejsou určeny k přenosu zatížení. Slouží jako pomocné svarové spoje, nebo také jako přípojný spoje k jiným částem konstrukce [8].

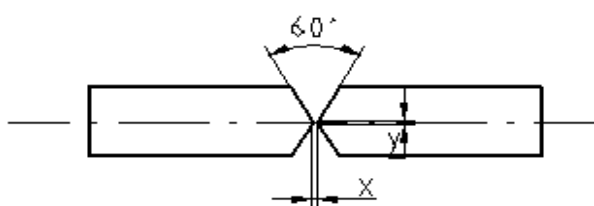
5.1.1 Nosné svarové spoje

- tupý
- přeplátovaný
- křížový
- s příložkami

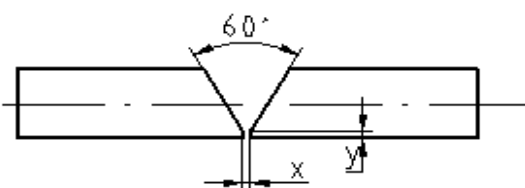
Tupé svarové spoje:

Příklady přípravy svarových ploch jsou uvedeny na obr. 4 - 6, obrázky dle normy ČSN EN ISO 17660 – 1. Příprava svarových ploch u tupých svarových spojů se připravuje mechanickým řezáním, nebo broušením. Tvar úkosu, mezera v kořeni a výška otupení se volí podle použité metody svařování a podle polohy svařování.

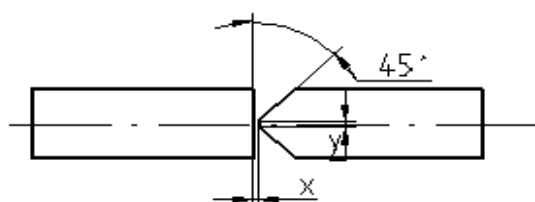
Příklady úpravy svarových ploch:



Obr. 4 Oboustranný V- svar



Obr. 5 Jednostranný V- svar



Obr. 6 K – svar [8]

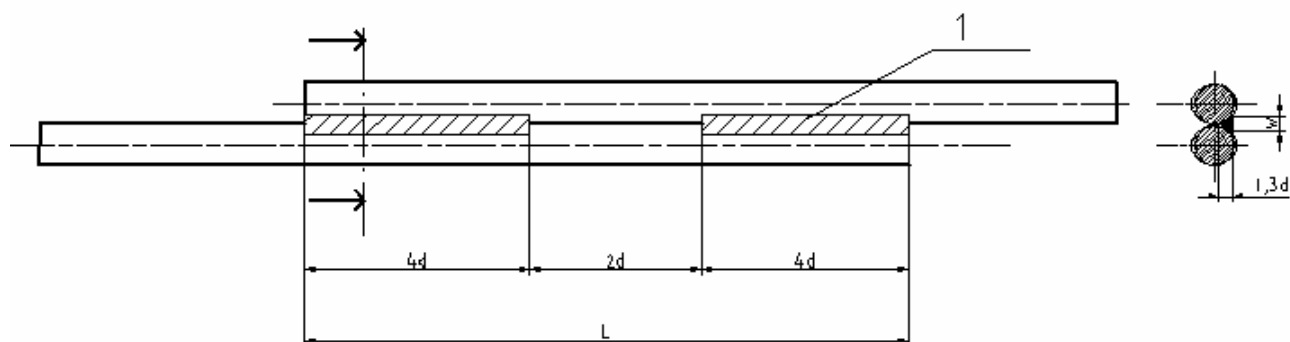
Legenda:

x...mezera v kořeni

y...výška otupení

Přeplátované svarové spoje

Nosné přeplátované svarové spoje se používají pro všechny druhy betonářských ocelí. Svarové plochy se před svařováním pouze očistí do kovového lesku. Průběh svařování je uveden na obr. 7.



Obr. 7 [8]

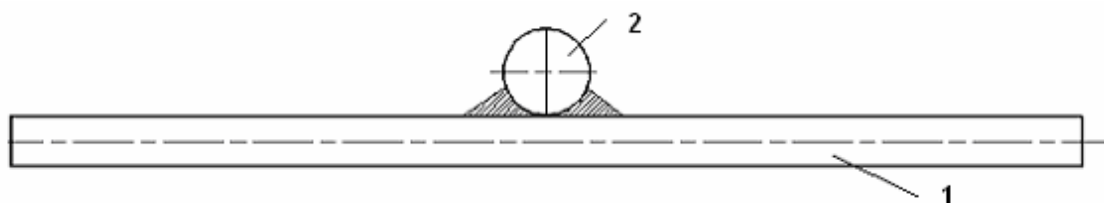
Legenda: d – menší průměr tyčí; w – šířka svaru. 1 – svar.

Křížový svarový spoj

Svarové spoje jsou oboustranné, nebo jednostranné. U jednostranných křížových spojů je nutné dbát na smykovou pevnost, která se musí ověřit působením síly [8].

K zabránění trhlin ve svaru se musí splnit podmínky:

- minimální velikost svaru $a \geq 0.3 \cdot d_{\min}$
- minimální délka svaru $l \geq 0.5 \cdot d_{\min}$ [8]



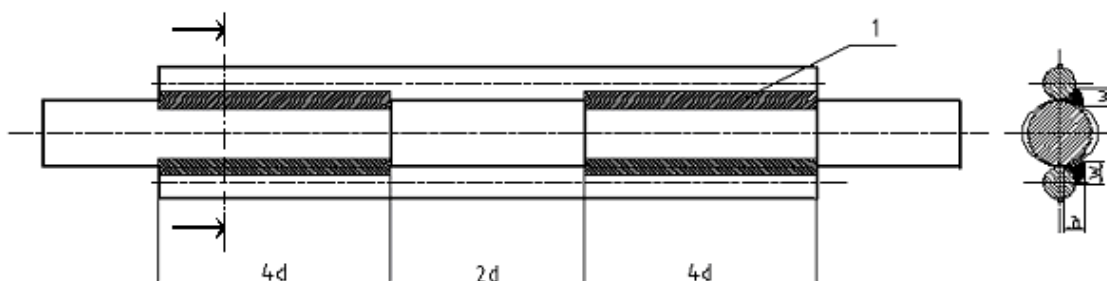
Obr. 8 [8]

Legenda:

- 1 Podélná tyč
- 2 příčná tyč

Spoje s příložkami

Tam, kde mají příložky a tyče stejné mechanické vlastnosti, musí být celková plocha průřezu dvou příložek větší než plocha průřezu spojovaných tyčí [8]. Svařování spoje s příložkami je znázorněno na obr. 9



Obr. 9 [8]

Legenda:

d – nejmenší průměr svařovaných tyčí

w – šířka svaru

a – velikost koutového svaru

1 – svar

5.1.2 Nenosné svarové spoje

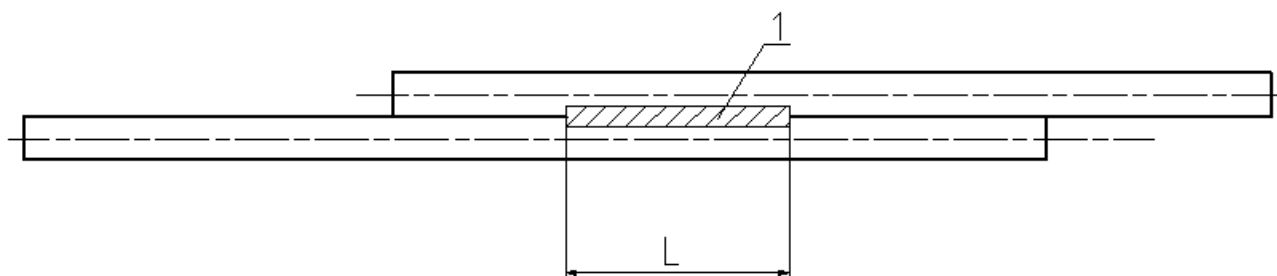
Nenosné svarové spoje se používají jako pomocné svary, které nepřenášejí silový účinek. Jejich úkolem je přidržovat výztužné prvky během výroby, dopravy. Většinou se jedná pouze o krátké svarové spoje (stehy).

Nenosné svarové spoje:

- přesahem
- křížový spoj

Nenosné svarové spoje přesahem

Nenosné svarové spoje přesahem se svařují dle obr. 10.



Obr. 10 [9]

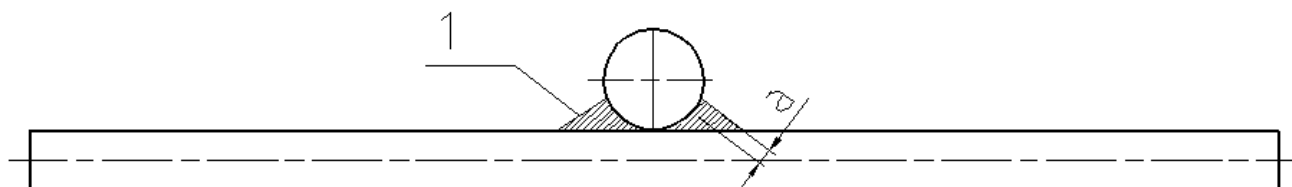
Legenda:

L – délka svaru

1 – svar

Nenosné svarové spoje křížové

Nenosné svarové spoje křížové se svařují dle obr. 11.



Obr. 11 [9]

Legenda:

1 – svar

a – velikost svaru

Rozměry svarových spojů pro provádění zkoušek se stanoví dle ČSN EN ISO 17660-1 a ČSN EN ISO 17660-2.

5.2 Návrh přídatných materiálů

Volba přídatných materiálů souvisí s chemickým složením a mechanickými vlastnostmi základního(svařovaného) materiálu. Hodnoty mechanických vlastností přídatných materiálů by měly být minimálně stejné jako hodnoty základního materiálu. Chemické složení by mělo odpovídat přibližně složení základního materiálu. Při volbě přídatného materiálu se snažíme volit takové chemické složení, aby při procesu svařování a následném ochlazování nevznikaly nežádoucí struktury. Při návrhu je nutné zohlednit také typ svarového spoje a polohu, ve které se bude svařovat.

Při svařování betonářských ocelí je možno použít následujících metod [8]:

Metoda svařování	Název metody
111	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
114	Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
135	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu
136	Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
21	Bodové odporové svařování

Přídavné materiály pro metodu 111

Pro svařování betonářských ocelí se doporučuje použití elektrod s bazickým obalem z důvodu větší nárazové práce a menší náchylnosti na vznik trhlin ve svarovém kovu oproti jiným druhům obalů. Množství difúzního vodíku nesmí překročit hranici 15ml/100g svarového kovu [3].

Tab. 1: Příklady přídavných materiálů pro svařování betonářských ocelí metodou 111 (výrobce Esab Vamberg, s.r.o.) [3].

Značení	Chemické složení hm. %			Mechanické vlastnosti		
	C [hm. %]	Si [hm. %]	Mn [hm. %]	Rm [MPa]	Re [MPa]	A ₅ [%]
OK 48.00	0,06	0,5	1,2	540	445	29
OK 55.00	0,06	0,5	1,4	590	480	28
OK 46.00	0,08	0,3	0,4	510	400	28
OK 46.16	0,09	0,4	0,5	505	440	28
OK48.05	0,06	0,5	1,0	540	445	29
OK 48.68	0,06	0,5	1,3	560	470	28
Značení	Chemické složení hm. %			Mechanické vlastnosti		
	C [hm. %]	Si [hm. %]	Mn [hm. %]	Rm [MPa]	Re [MPa]	A ₅ [%]
E-B 123	0,06	0,5	1,2	530	450	28
E-B 125	0,06	0,5	1,4	580	480	25
E-B 127	0,06	0,5	2,0	660	580	23
OK 74.78	0,06	0,35	Mn	650	600	24
			Mo			
			1,5	0,35		

Výše uvedené přídavné materiály se musí před svařováním přesušit. Teplota sušení přibližně 300°C - 350°C po dobu 2h.

Tyto přídavné materiály jsou vhodné pro svařování ocelí používaných pro výztuže do betonu. Pro různé druhy betonářských ocelí se používají jiné druhy přídavných materiálů. Použití závisí na porovnání mezi kluzu základního a přídavného materiálu.

příklad: Ocel B500B – mez kluzu 500MPa, vhodné použít přídatný materiál E-B 127, OK 74.78.

Pro účely této bakalářské práce byly použity přídatné materiály E-B 127, OK 74.78.

6. Svařování betonářských výztuží

6.1 Použitý materiál

Jako základní materiál byla použita ocel B500B. Tato ocel se používá pro výrobu betonářských výztuží. Jedná se o ocel, která je termomechanicky zpracována, to znamená, že má tvrdý povrch, a houževnaté jádro. Je dodávána ve svitcích do průměru 12, větší průměry tyčí jsou dodávány v délkách od 4 m do 18 m. Základní charakteristika materiálu oceli B500B je uvedena v tabulce 2.

Tab. 2 [3]

Skupina ocelí podle ČSN EN 10 020	Nelegované jakostní pro výztuž do betonu			
Chemické složení (rozbor tavby) [hm%]	C	P	S	N
	max. 0,220	max. 0,050	max. 0,050	max. 0,012
Chemické složení (rozbor tavby) [hm%]	max. 0,240	max. 0,055	max. 0,055	max. 0,013
Výrobek	Žebírkové tyče			
Provedení	Válcováno za tepla, ve stavu řízeně ochlazovaném z doválcovací teploty			
Technické dodací předpisy	DIN 488 – 1			
Rozměrová norma	DIN 488 – 2			
Povrch	Okujený			
Průměr	10 mm – 32mm			
Nejnižší mez kluzu Re [MPa]	500			
Nejnižší mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	min. 550			
Rm/Re	min 1,08			
Nejnižší tažnost A ₅ podél. [%]	10			

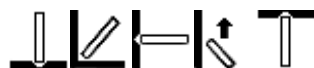
Přídavný materiál

Pro svařování oceli B500B byly použity přídavné materiály OK 74.78 a E-B 127.

OK 74.78 je bazická nízkonavlhavá elektroda vhodná pro svařování vysokopevných ocelí.

Svařovací proud: DC +

Charakteristika je uvedena v tab. 3.



Tab. 3 [10]

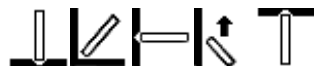
Klasifikace	Schválení	Chemické složení čistého svarového kovu [hm.%]		Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu				
<u>SFA/AWS A5.5</u> <u>E9018-D1</u> <u>EN 757</u> <u>E 55 4 MnMo B 3</u> <u>2 H5</u>		C	0,06	<u>Mez kluzu, MPa</u> 600				
		Si	0,4	<u>Pevnost, MPa</u> 650				
		Mn	1,5	<u>Tažnost, A5 %</u> 24				
		Mo	0,4					
<u>Teplota přesušení,</u> <u>°C</u> 350 <u>Doba přesušení, h</u> 2 <u>Výtěžnost</u> 125%				<u>Zkouška vrubové</u> <u>houževnatosti, V-vrub</u>				
				<u>Zkušební</u> <u>teplota,</u> [°C]	<u>Nárazová</u> <u>práce</u> [J]			
				0	100			
				-20	90			
Výkonové parametry:								
Průměr [mm]	Délka [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Výtěžno st [%]	Doba hořen í [s]	Podíl sv. kovu [%]	Počet elektrod na kg sv. kovu [ks/kg]	Výkon navář.
2,5	350	75-100	22	120	55	0,62	73	0,9
3,2	450	105-140	23	120	86	0,65	32	1,3
4,0	450	140-190	23	120	97	0,65	21	1,8
5,0	450	190-260	23	120	100	0,68	14	2,6
6,0	450	240-360	24	117	103	0,69	10	3,6

E-B 127

Bazická elektroda pro svařování konstrukčních dílů z oceli o pevnosti až 620Mpa.

svařovací proud: DC +

Charakteristika je uvedena v tab 4.

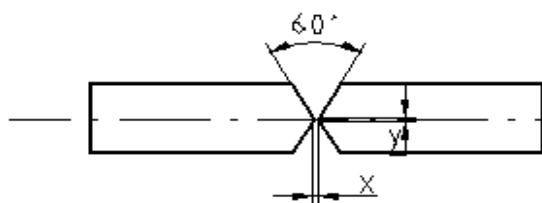


Tab. 4 [10]

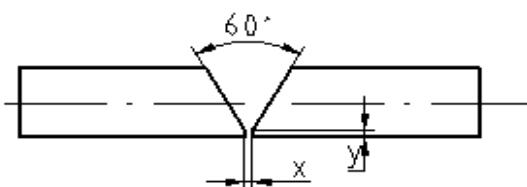
Klasifikace		Schválení	Chemické složení čistého svarového kovu [hm.%]		Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu			
<u>EN ISO 2560-A</u> <u>E9018-D1</u> <u>E 50 A B</u>		EN 13479	C	0,06	<u>Mez kluzu, MPa</u> 580 <u>Pevnost, MPa</u> 660 <u>Tažnost, A5 %</u> 23			
			Si	0,50				
			Mn	2,0				
<u>Teplota přesušení,</u> °C 100/1h + 300-350/2h <u>Výtěžnost</u> 125%					<u>Zkouška vrubové houževnatosti, V-vrub</u>			
					<u>Zkušební teplota,</u> [°C]	<u>Nárazová práce</u> [J]		
					20	130		
Výkonové parametry:								
Průměr [mm]	Délka [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Výtěžn ost [%]	Doba hoření [s]	Podíl sv. kovu [%]	Počet elektrod na kg sv. kovu [ks/kg]	Výkon navář.
2,5	350	80-100	26	110	64	0,63	75	0,8
3,2	450	110-140	26	110	91	0,71	36	1,1
4,0	450	140-170	28	110	102	0,71	23	1,5
5,0	450	190-230	28	110	117	0,71	15	2,1

Příprava svarových ploch.

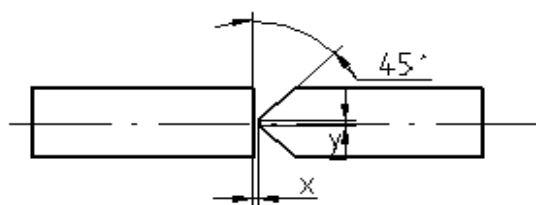
Svarové plochy byly připravovány mechanicky – řezáním (pro tupé svarové spoje). Příklad úpravy svarových ploch je na obrázcích 11-13. Pro křížové svarové spoje a pro spoje přesahem byly tyče před svařováním očištěny ocelovým kartáčem.



Obr. 11



Obr. 12



Obr. 13

6.2 Postup svařování

Betonářské výztuže byly svařovány metodou ručního obloukového svařování obalenou elektrodou (111). Při svařování byla použita elektroda E – B 127, která byla před svařováním vysušena.

Postup svařování je uveden v příloze č. 1 pro tupé svarové spoje. Pro křížové svarové spoje je postup svařování uveden v příloze č. 2.

Při svařování je nutné dbát na to, aby teplota interpass nepřesáhla 500°C [3].

6.3 Hodnocení vzorků

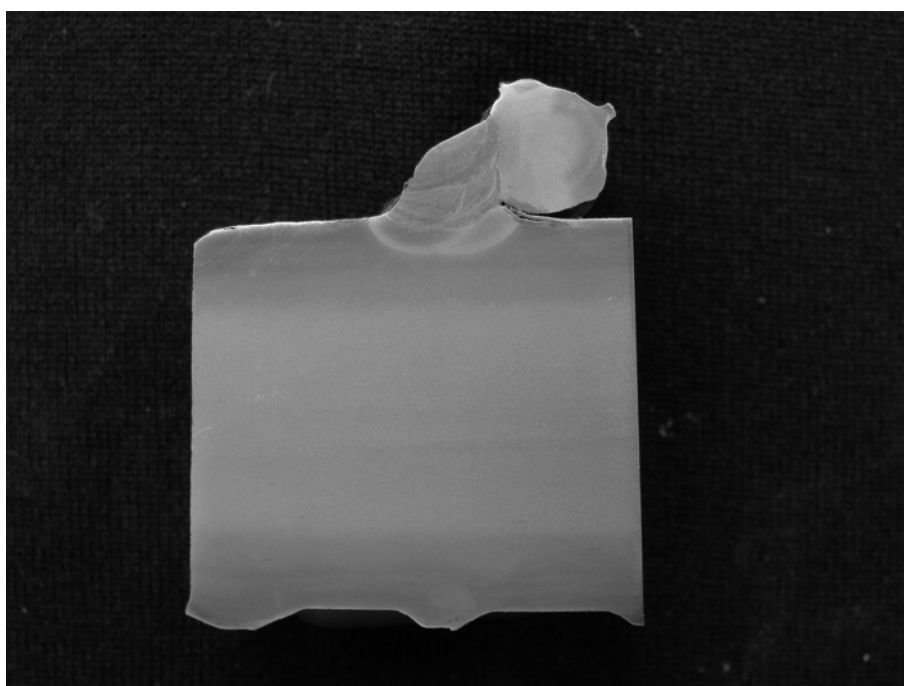
Na vybraných vzorcích byla hodnocena makrostruktura, mikrostruktura, a následně bylo provedeno měření tvrdostí.

Příprava vzorků pro metalografické hodnocení spočívá v broušení na brusných papírech s různou zrnitostí. Vzorky pro mikrostrukturu byly broušeny na brusných papírech o zrnitostech 80, 280, 500, 1000, 1500, 2500 μ m. Po broušení následovalo leštění a leptání. Vzorky byly leptány v 10% roztoku kyseliny dusičné.

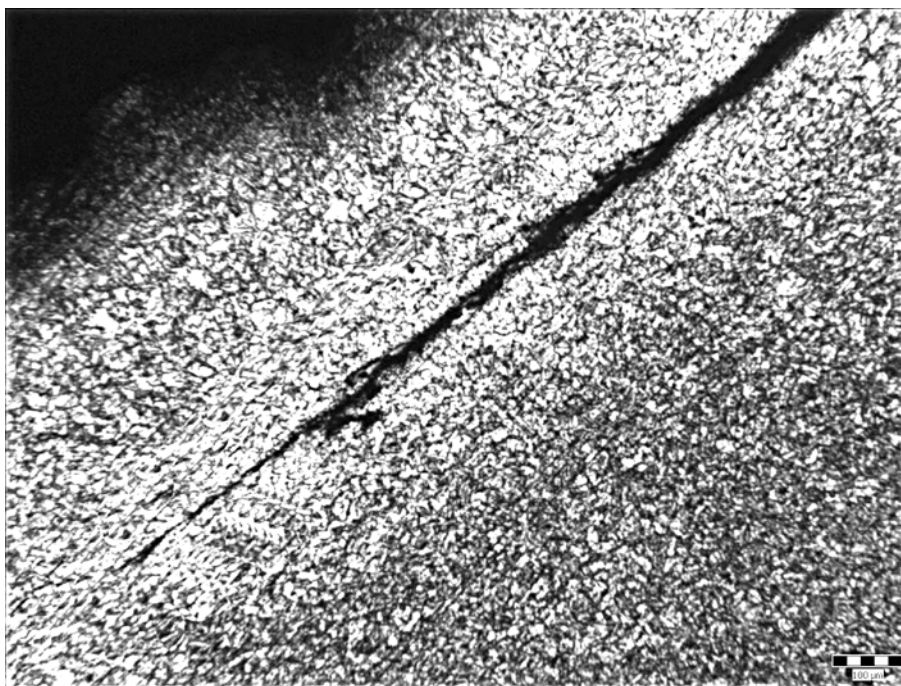
Vybrané vzorky pro posouzení makrostruktury a mikrostruktury jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5

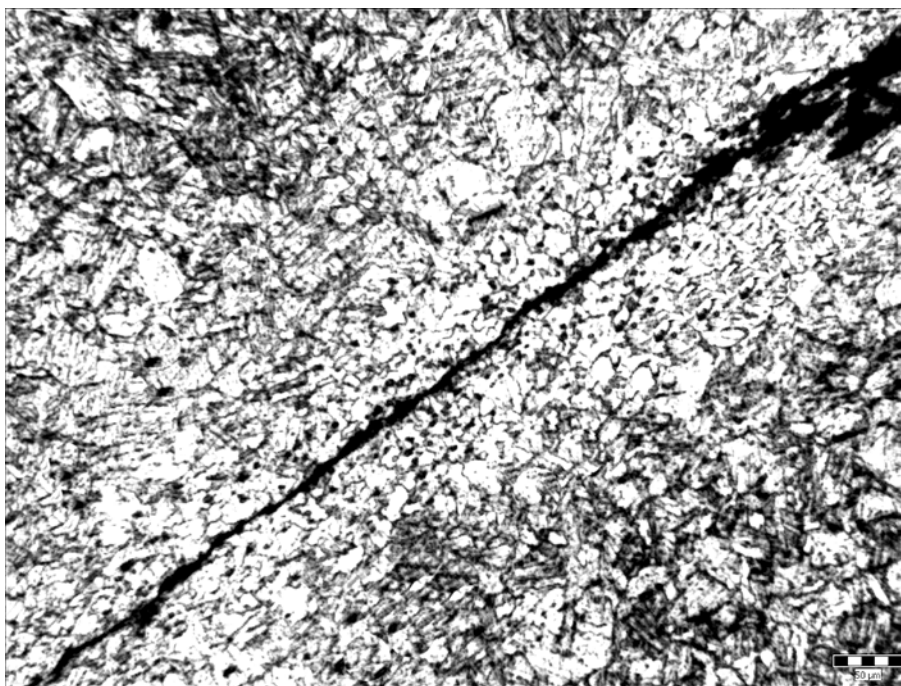
Typ spoje	Průměr tyčí [mm]	Vzorek číslo	Poloha svařování
Křížový	32/10	90	PA
Křížový	32/18	60	PC
Tupý V-svar	12	20	PA
Tupý X-svar	32	40	PA
Tupý K-svar	12	30	PB



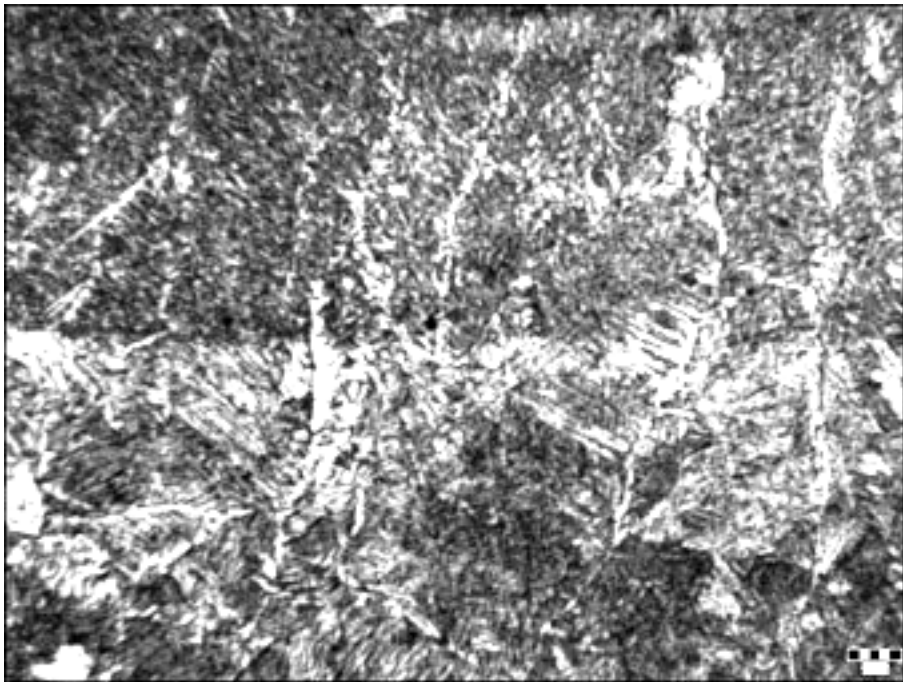
Obr. 14 – makrostruktura vzorku č. 90, zvětšení 2x



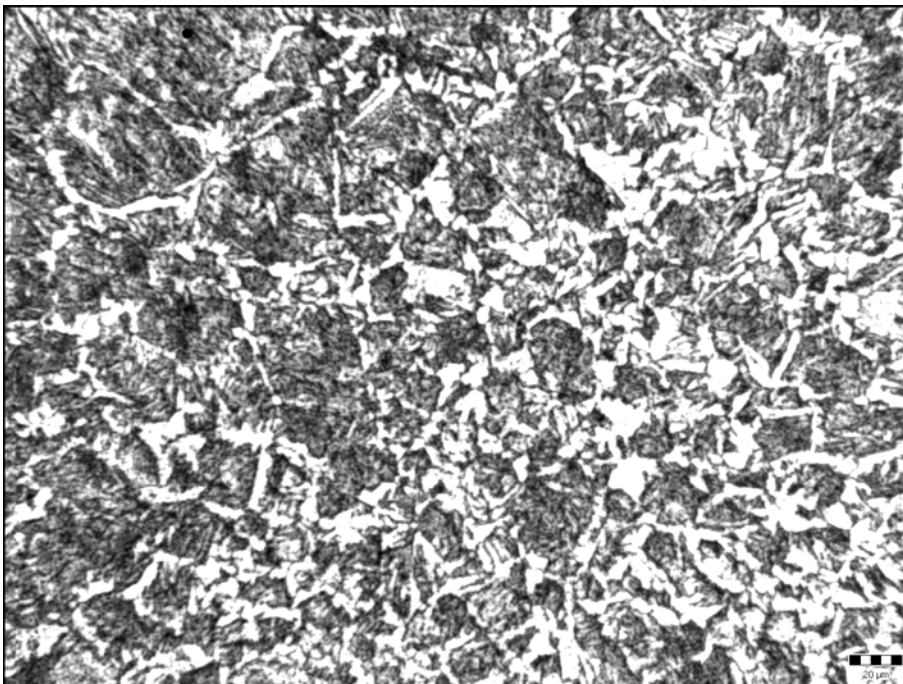
Obr. 15 – mikrostruktura vzorku č. 90: trhlin v základním materiálu, která vykazuje charakter mírného oduhličení, zvětšení 50x



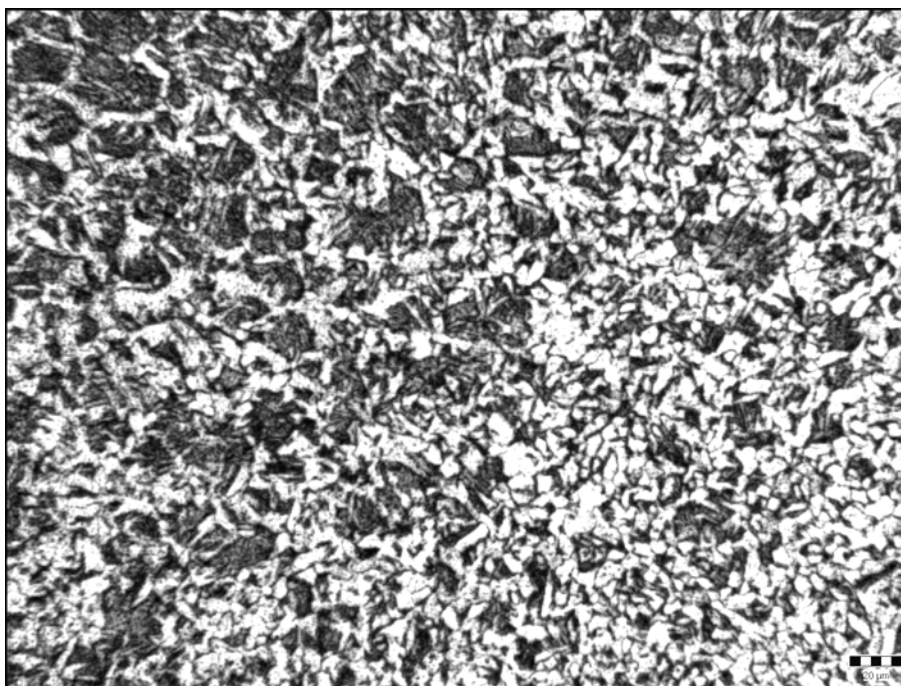
Obr. 16 – mikrostruktura vzorku č. 90: detail trhliny v základním materiálu, zvětšení 200x



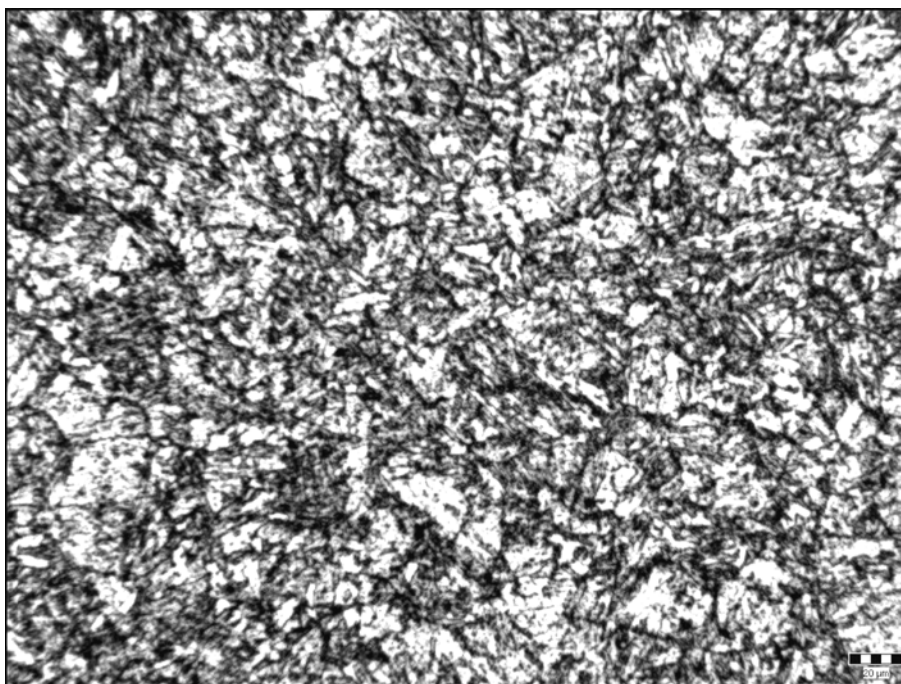
Obr. 17 – mikrostruktura vzorku č. 90: oblast hrubého zrna, jehlicový ferit, zvětšení 200x



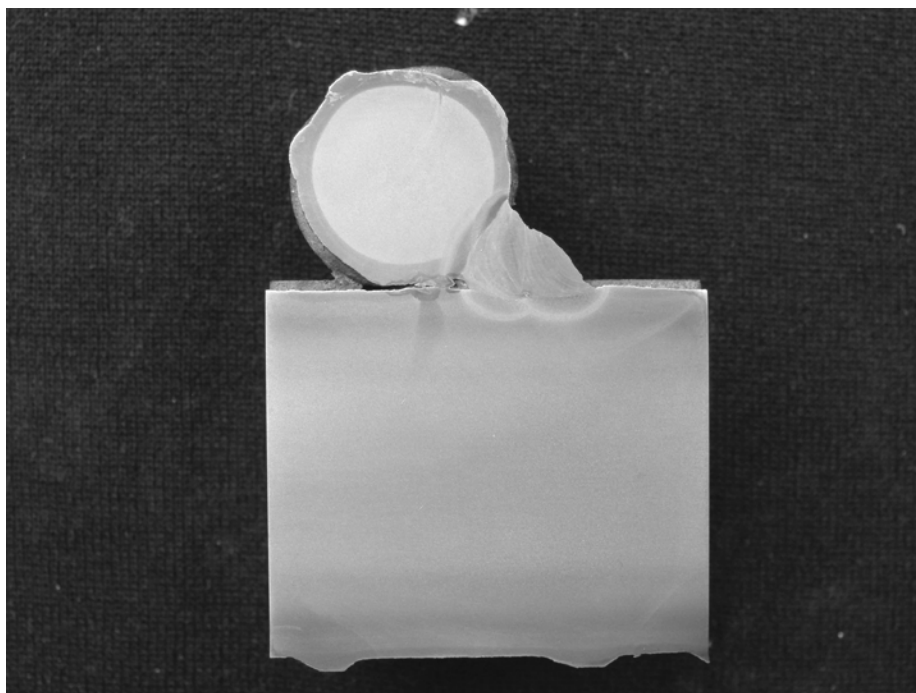
Obr. 18 – mikrostruktura vzorku č. 90: ferit po hranicích austenitického zrna, zvětšení 200x



Obr. 19 – mikrostruktura vzorku č. 90: feriticko – perlitická struktura, zvětšení 200x



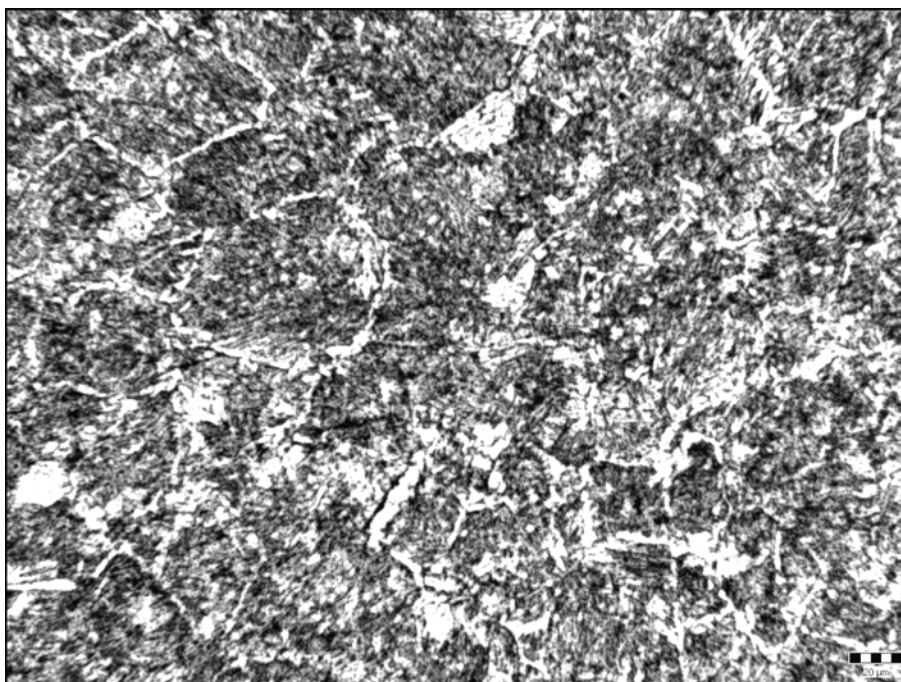
Obr. 20 – mikrostruktura vzorku č. 90: základní materiál B500B, zvětšení 200x



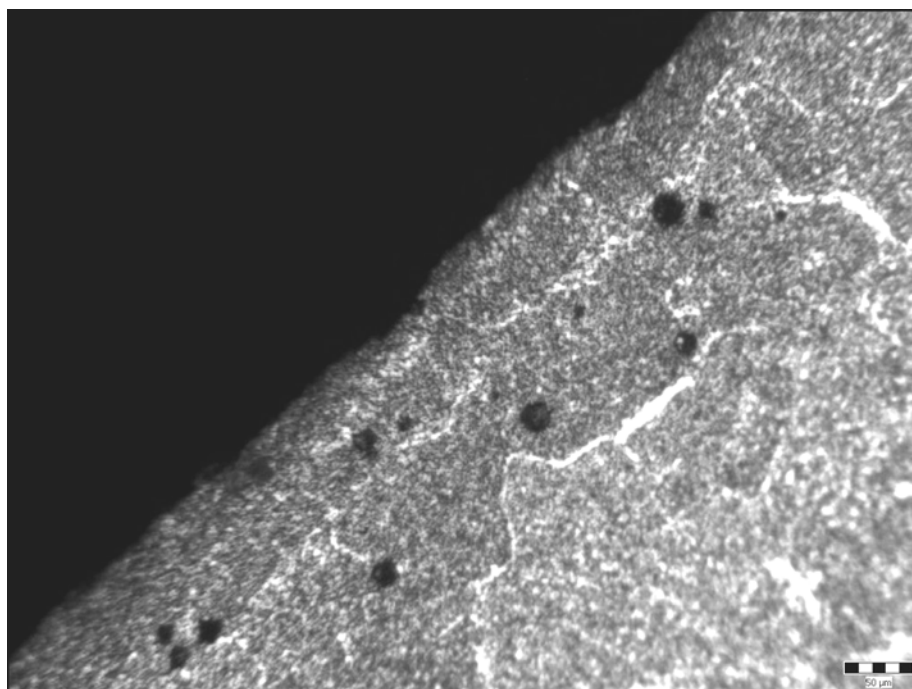
Obr. 21 – makrostruktura vzorku č. 60: zvětšení 2x



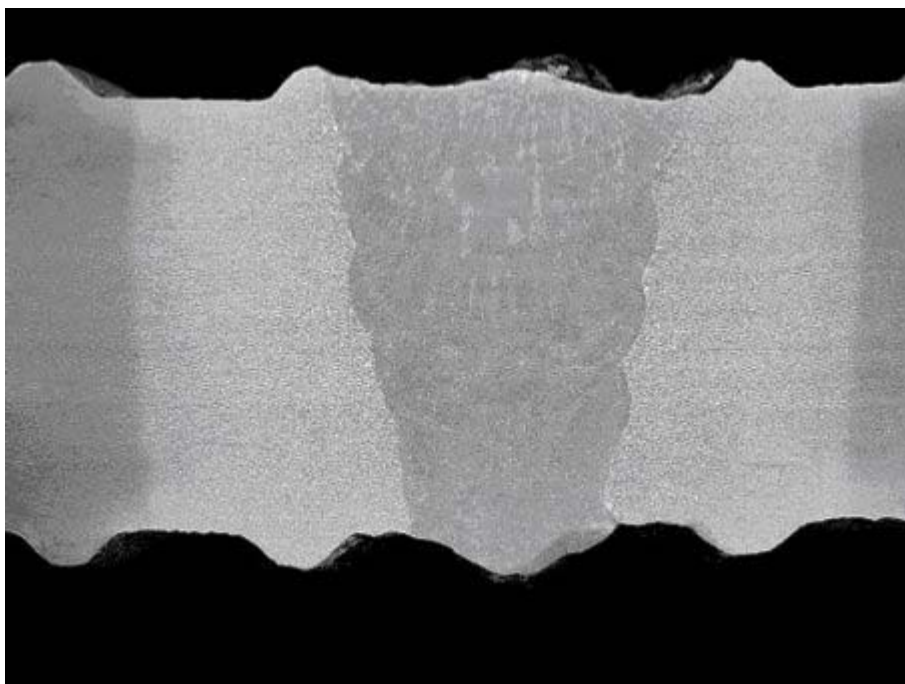
Obr. 22 – mikrostruktura vzorku č. 60: svarový kov a oblast hrubého zrna, po hranicích zrna ferit, zvětšení 200x



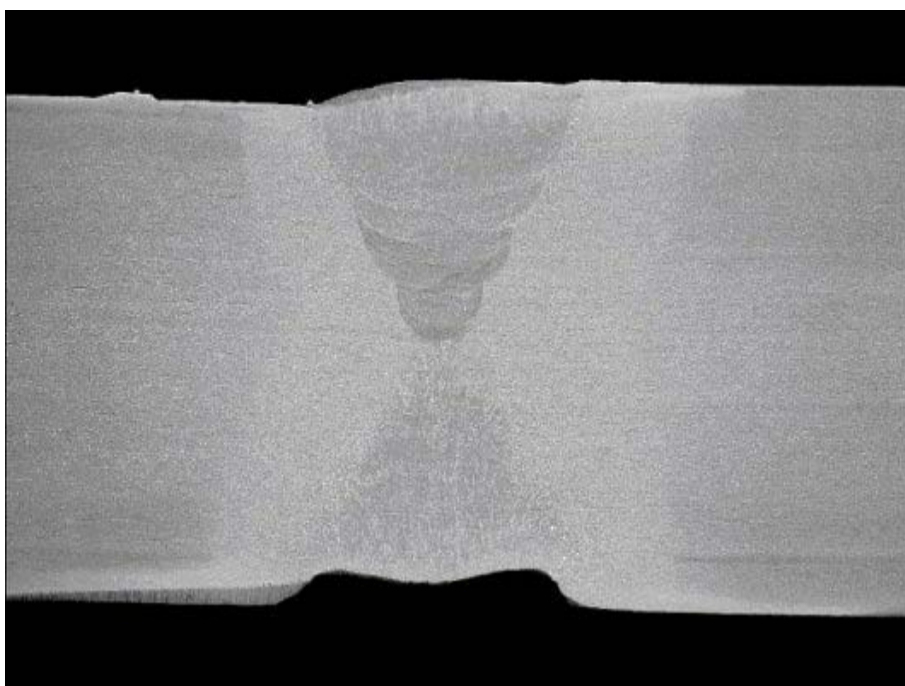
Obr. 23 – mikrostruktura vzorku č. 60: hrubé zrna, pásma normalizace, zvětšení 200x



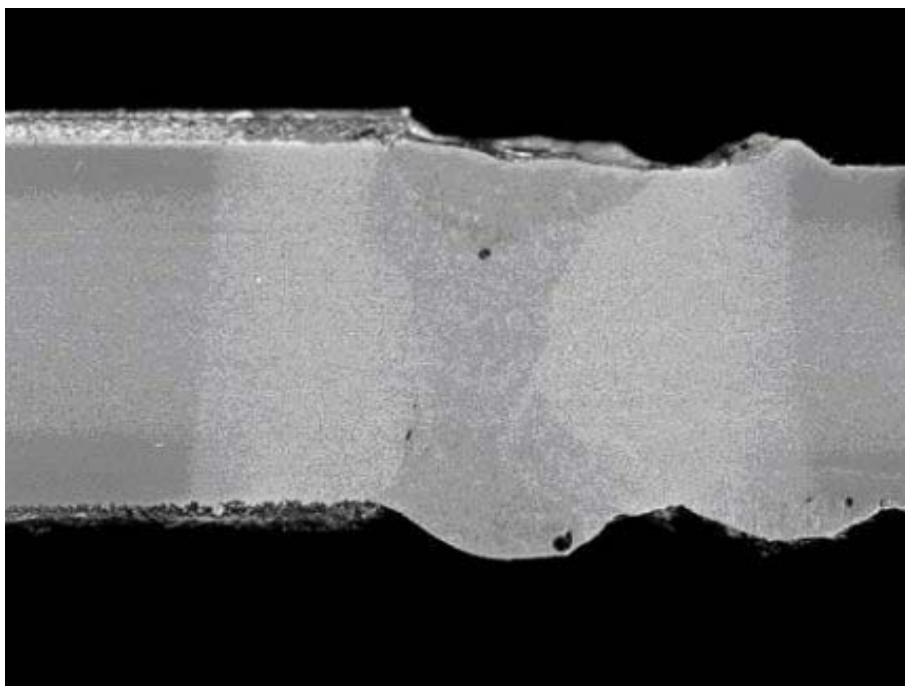
Obr. 24 – mikrostruktura vzorku č. 60: póry ve svarovém kovu (elektroda E – B 127),
zvětšení 100x



Obr. 25 – makrostruktura vzorku č. 20, zvětšení 5x



Obr. 26 – makrostruktura vzorku č. 40, zvětšení 2x



Obr. 27 – makrostruktura vzorku č. 30: póry ve svarovém kovu (elektroda E-B 127),
zvětšení 4x

6.4 Měření tvrdosti

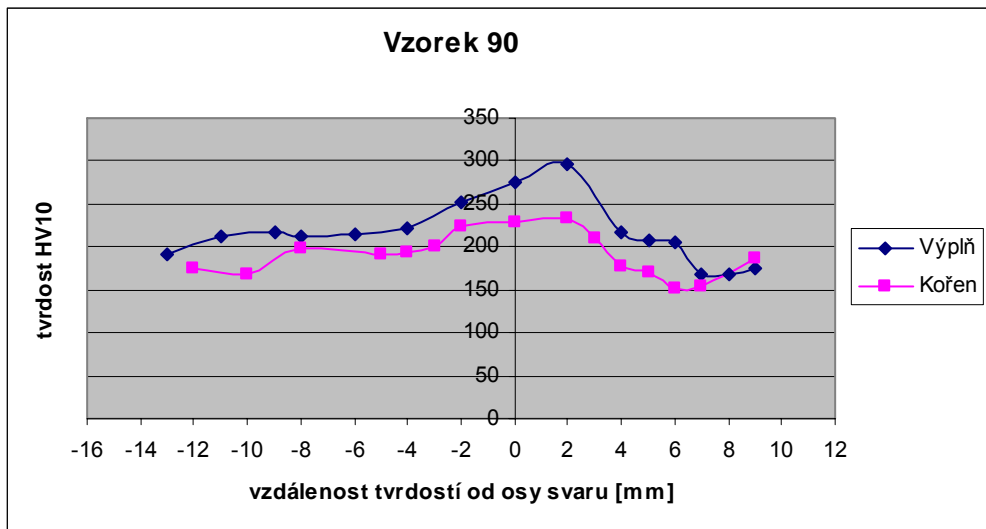
Tvrdost se měřila ve všech oblastech, základního materiálu, TOO, svarového kovu, TOO a základního materiálu. Měření bylo provedeno od základního materiálu většího průměru přes všechny oblasti k základnímu materiálu menšího průměru. Přehled naměřených hodnot je uveden v tabulce 6 a v tabulce 7. Výsledky měření jsou zpracovány graficky (Obr. 28 a Obr. 29). Za nulovou hodnotu byla zvolena osa svaru. Záporné hodnoty znamenají vzdálenost od osy svaru, k tyči o větším průměru. Kladné hodnoty jsou vzdálenosti k tyči o menším průměru.

Tvrdost byla měřena ve dvou liniích, první vedla přes výplň svarového kovu, a druhá přes kořen svarového spoje. Tvrdost byla měřena na tvrdoměru, při zatížení HV10.

Měření tvrdostí

Tab. 6

Vzorek 90			
Výplň		Kořen	
L [mm]	HV10	L [mm]	HV10
-13	192	-12	175
-11	213	-10	169
-9	218	-8	198
-8	213	-5	191
-6	215	-4	193
-4	221	-3	201
-2	251	-2	224
0	276	0	228
2	297	2	233
4	218	3	209
5	208	4	177
6	206	5	171
7	169	6	151
8	167	7	154
9	175	9	187

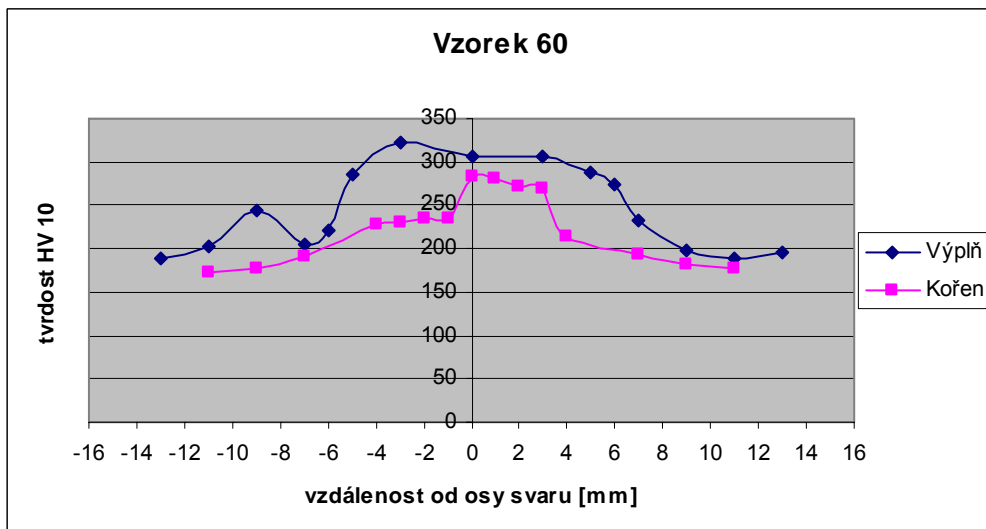


ZM
TOO
SK
HZ

Obr. č.28

Tab. 7

Vzorek 60			
Výplň		Kořen	
L [mm]	HV10	L [mm]	HV10
-13	188	-11	172
-11	203	-9	177
-9	245	-7	192
-7	206	-4	227
-6	221	-3	230
-5	285	-2	236
-3	322	-1	235
0	306	0	283
3	306	1	281
5	287	2	272
6	274	3	270
7	232	4	213
9	198	7	194
11	188	9	182
13	196	11	177



ZM
TOO
SK
HZ

Obr. 29

6.5 Zhodnocení dosažených výsledků

U vzorku č. 90 lze z hlediska makrostruktury pozorovat neprůvar kořene, který může být způsoben nedoléháním žebírek přes sebe. Tento neprůvar může být způsoben technologickou nekázní svářeče. Na vzorku č. 90 se vyskytla trhlina v základním materiálu. Okolí této trhliny je mírně oduhličeno. Výskyt této trhliny může být způsoben výrobou této oceli.

Z hlediska naměřených hodnot tvrdosti (obr. 28) vzorek vyhověl, nepřesáhl přípustnou hodnotu max. 380 HV10 dle ČSN EN ISO 15614 - 1.

Makrostruktura vzorku č. 60 je vyhovující. V mikrostruktuře svarového kovu se vyskytly póry, tyto póry mohou být způsobeny nedostatečným vysušením obalu elektrod, nebo nedostatečným očištěním povrchu tyčí před svařováním. Výsledná struktura TOO feriticko – perlitická, je vyhovující. Měření tvrdosti probíhalo ve dvou liniích, v obou liniích se nevyskytly velké rozdíly (obr. 29). Tvrdost nepřesáhla přípustnou hranici 380 HV10 dle ČSN EN ISO 15614 - 1.

Makrostruktura vzorku č. 20 je bez viditelných vad. Tento vzorek lze označit za vyhovující.

Makrostruktura vzorku č. 40 je bez viditelných vad. Tento vzorek lze označit za vyhovující.

Makrostruktura vzorku č. 30: jsou zde viditelné póry a bubliny v oblasti svarového kovu. Tyto póry mohou být způsobeny vlhkostí v obalu elektrody. Tyto póry mohou zapříčinit vznik trhlín svarového spoje.

Na základě těchto výsledků byly vypracovány specifikace postupu svařování (WPS) pro křížové, a tupé svarové spoje. Tyto WPS jsou uvedeny v příloze č. 1, a č. 2.

7. Závěr

Bakalářská práce se zabývala svařitelností termomechanicky zpracovaných ocelí, používané jako výztuže do betonu.

První kapitola je zaměřena na termomechanické zpracování, a značení TMZ ocelí. V další kapitole byla popsána svařitelnost těchto ocelí, a vliv jednotlivých prvků na svařitelnost a tepelné ovlivnění materiálu v průběhu svařování.

V další kapitole je uveden příklad svarových spojů na základě ČSN EN ISO 17660-1 část „Nosné svarové spoje“ a ČSN EN ISO 17660-2 část „Nenosné svarové spoje“. V této kapitole jsou uvedeny příklady přídavných materiálů, pro metodu 111.

Praktická část bakalářské práce je zaměřena na svařování oceli B500B, a vyhodnocení makrostruktury, mikrostruktury a tvrdostí svarových spojů.

Po metalografickém vyhodnocení svarových spojů je zvolená metoda 111 vhodná ke svařování ocelí používané pro výztuže do betonu.

Na základě výsledků z praktické části byly zpracovány návrhy postupů svařování WPS dle ČSN EN ISO 17660 – 1.

Výsledky práce jsou v současné době používány při svařování betonářské výztuže.

Seznam použité literatury:

- [1] RYŠ, P., et al.: *Nauka o materiálu I : železo a jeho slitiny*. 2. rozš. vyd. Sv. 4. Praha: ACADEMIA, 1975. 544 s.
- [2] KOUKAL, J., ZMYDELNÝ, T.: *Svařování I*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [3] POŠVÁŘOVÁ, M.: *Technické podmínky TP 193 Svařování betonářské výztuže a jiné typy spojů: monografie*. Mott MacDonald Praha, 2008. 132 s. ISBN 978-80-904172-0-5
- [4] KUČERA, J.: *Teorie svařování*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1987. 408 s.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ.: *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava : ZEROSS, 1999. 296 s. ISBN 80-85771-63-2.
- [6] SILBERNAGEL, A.: *Nauka o materiálu I*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1996. 152 s.
- [7] SKOČOVSKÝ, P., BOKŮVKA, O., KONEČNÁ, R., TILLOVÁ, E.: *Nauka o materiálu pro obory strojnícke*. Žilina: Žilinská univerzita, 2001. 381 s.
- [8] ČSN EN ISO 17660-1. *Svařování betonářské oceli – Část 1: Nosné svarové spoje*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 36 s.
- [9] ČSN EN ISO 17660-2. *Svařování betonářské oceli – Část 2: Nenosné svarové spoje*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 20 s.
- [10] ESAB: *Katalog přídavných materiálů pro svařování*, 3. přepracované a doplněné vydání, Esab Vamberk s.r.o., 2007, 415 s.
- [12] KUNCIPÁL, J. A KOL.: *Teorie svařování*. Praha: SNTL, 1986

Přílohy



Příloha č. 1

Stanovení postupu svařování výrobce (WPS)

WPS číslo:	25-03-09	Zkušební orgán:	
Na základě WPQR číslo:	13-05-091	Zkušební organizace:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava
Místo:	Ostrava	Specifikace základního materiálu dle:	
Výrobce, Adresa:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava	EN 488	BSt 500 S
		ČSN EN 10 027-1	B500B
		ČSN EN 10 027-2	1.0438
		Další označení:	-
Metoda svařování:	111	Druh přípravy a čištění:	Řezání, čištění
Druh svaru:	tupý	Tloušťka materiálu [mm]:	
Poloha při svařování:	všechny kromě PG a JL60	Vnější průměr [mm]:	Tyč ø 12

Norma:	ČSN EN ISO 17660-1	
Tvar spoje		Postup svařování

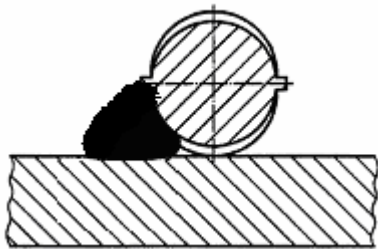
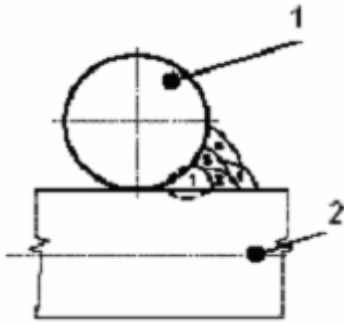
Podrobnosti svařování								
Housenka	Přídavný materiál	Průměr přídavných mat. [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Typ proudu / Polarita	Rychlost posuvu drátu	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	
1	E – B 127	φ 2,5	85-97	22 - 27	DC/+	-	1,3 – 1,8	
2	E – B 127	φ 2,5	85-97	22 - 27	DC/+	-	1,3 – 1,8	
3	E – B 127	φ 3,2	118-140	22 - 28	DC/+	-	1,3 – 1,8	
4	E – B 127	φ 3,2	118-140	22 - 28	DC/+	-	1,3 – 1,8	
Další informace								

Přídavný materiál:	E – B 127	Tepelné zpracování před svařováním	
Klasifikace dle EN ISO 2560 – A	E 50 A B	Teplota předehřevu ve °C:	
Dle výrobce:		Interpass teplota ve °C:	max. 500
Dle normy:		Tepelné zpracování po svařování	
		Metoda:	
Předpis pro sušení: čas/teplota	1h/100+2h/350°C	Čas / teplota:	
Údaje o drážkování		Rychlost ohřevu a chladnutí:	
Výrobce:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava	Zkušební orgán:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava
	Jméno, datum a podpis.		Jméno, datum a podpis

Příloha č.2

Stanovení postupu svařování výrobce (WPS)

WPS číslo:	22-03-09	Zkušební orgán:	
Na základě WPQR číslo:	12-05-09	Zkušební organizace:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava
Místo:		Specifikace základního materiálu dle:	
Výrobce, Adresa:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava	EN 488	BSt 500 S
		ČSN EN 10 027-1	B500B
		ČSN EN 10 027-2	1.0438
		Další označení:	-
Metoda svařování:	111	Druh přípravy a čištění:	Kartáčování, čištění
Druh svaru:	křížový	Tloušťka materiálu [mm]:	
Poloha při svařování:	PA, PB, PC	Vnější průměr [mm]:	Tyč ø 32/ ø10

Norma:	ČSN EN ISO 17660-1
Tvar spoje	Postup svařování
	

Podrobnosti svařování								
Housenka	Přídavný materiál	Průměr přídavných mat. [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Typ proudu / Polarita	Rychlost posuvu drátu	Tepelný příkon [kJ.mm ⁻¹]	
1	E – B 127	φ 2,5	85-97	22 - 27	DC/+	-	1,3 – 1,8	
2	E – B 127	φ 2,5	85-97	22 - 27	DC/+	-	1,3 – 1,8	
3 – n	E – B 127	φ 3,2	118-140	22 - 28	DC/+	-	1,3 – 1,8	
Další informace								

Přídavný materiál:	E – B 127	Tepelné zpracování před svařováním	
Klasifikace dle EN ISO 2560 -A	E 50 A B	Teplota předehřevu ve °C:	-
Dle výrobce:		Interpass teplota ve °C:	max. 500
Dle normy:		Tepelné zpracování po svařování	
		Metoda:	-
Předpis pro sušení: čas/teplota	1h/100+2h/350°C	Čas / teplota:	- -
Údaje o drážkování		Rychlost ohřevu a chladnutí:	- -
Výrobce:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava	Zkušební orgán:	VŠB-TUO 17. listopadu Ostrava
	Jméno, datum a podpis.		Jméno, datum a podpis